

## **Điều khiển trượt động dựa vào hàm chuyển mạch động và giới hạn trên hệ thống giám xóc – vật – lò xo**

Phạm Thanh Tùng<sup>1\*</sup>, Lê Hữu Toàn<sup>2</sup>, Nguyễn Chí Ngôn<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long;

<sup>2</sup>Khoa Cơ khí, Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long;

<sup>3</sup>Đại học Cần Thơ.

\*Email: tungpt@vlute.edu.vn.

Nhận bài ngày 23/12/2021; Hoàn thiện ngày 27/01/2022; Chấp nhận đăng ngày 10/4/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.78.2022.39-48>

### **TÓM TẮT**

*Nghiên cứu này đề xuất bộ điều khiển trượt động dựa vào hàm chuyển mạch động và giới hạn trên cho hệ thống giám xóc – vật – lò xo với nhiều. Đạo hàm ngõ vào điều khiển của bộ điều khiển trượt động được xem như biến điều khiển mới cho hệ thống tăng cường bao gồm hệ thống ban đầu và bộ tích hợp. Bộ điều khiển trượt động có thể chuyển điều kiện không liên tục sang đạo hàm bậc một của ngõ vào điều khiển. Ví dụ, bộ điều khiển đề xuất giảm đáng kể hiện tượng chattering của điều khiển trượt truyền thống. Các kết quả mô phỏng với MATLAB/Simulink được so sánh với bộ điều khiển PID chứng minh hiệu quả của phương pháp đề xuất với thời gian tăng đạt 0.4443(s), thời gian xác lập là 0.7292(s), độ vọt lố là 0.0089(%) và sai số xác lập hội tụ về 0.*

**Từ khoá:** Điều khiển trượt động; Giới hạn trên; Hàm chuyển mạch động; Hệ giám xóc – vật – lò xo; MATLAB/Simulink

### **1. MỞ ĐẦU**

Phương pháp điều khiển trượt được biết đến như là một phương pháp điều khiển bền vững và hiệu quả trong môi trường phức tạp và hệ thống động lực học bởi khả năng loại bỏ nhiễu ngoài vốn có của nó [1]. Do đó, điều khiển trượt cổ điển và nâng cao là các phương pháp được sử dụng thường xuyên trong các hệ thống điều khiển khác nhau, đặc biệt là hệ thống giám xóc – vật – lò xo. Tuy nhiên, điều khiển trượt cổ điển luôn gây ra hiện tượng chattering bởi thành phần không liên tục của luật điều khiển chuyển mạch [1, 2]. Khi xảy ra hiện tượng chattering ở tín hiệu điều khiển, các mạch công suất dễ bị quá nhiệt dẫn đến hư hỏng, tiêu thụ nhiều năng lượng và nhiệt, hao mòn chuyển động của các bộ phận cơ khí [3]. Nhiều nghiên cứu về điều khiển trượt nâng cao hoặc tích hợp thuật toán điều khiển trượt mở rộng với các kỹ thuật điều khiển hiện đại đã được giới thiệu nhằm khắc phục nhược điểm này, tiêu biểu như điều khiển trượt thích nghi với hàm Hyperbolic Tangent [4], điều khiển trượt với mô hình mờ [5], điều khiển trượt đầu cuối thích nghi [6], điều khiển trượt sử dụng mạng nơ-ron [7], điều khiển sử dụng phương pháp đồ thị liên kết [8]. Trong nghiên cứu này, bộ điều khiển trượt động dựa vào hàm chuyển mạch động và giới hạn trên được đề xuất để giảm ảnh hưởng của hiện tượng chattering quanh mặt trượt.

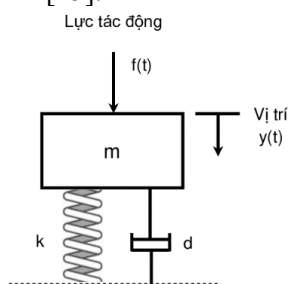
Thời gian gần đây, điều khiển trượt động thu hút sự quan tâm lớn của các nhà khoa học vì đây là phương pháp đặc biệt để giảm chattering thông qua bộ tích hợp trong hệ thống [9]. Đạo hàm ngõ vào điều khiển của bộ điều khiển trượt động được xem như biến điều khiển mới cho hệ thống tăng cường bao gồm hệ thống ban đầu và bộ tích hợp. Hiện tượng chattering giảm đáng kể và đặc tính loại bỏ nhiễu được đảm bảo do không có lớp ranh giới nào được sử dụng trong bộ điều khiển trượt động. Với bản chất của hàm bão hòa thể hiện ngoài lớp biên, điều khiển chuyển mạch được lựa chọn, trong lớp biên, điều khiển hồi tiếp thông thường được thông qua. Vì vậy, hiện tượng chattering được hạn chế một cách triệt để [10]. Bộ điều khiển đề xuất được kiểm chứng trong điều khiển bám vị trí hệ thống giám xóc – vật – lò xo. Đây là hệ thống được sử dụng rộng rãi trong các lĩnh vực kỹ thuật [11], đặc biệt là trong các lĩnh vực lĩnh vực Tự động hóa và Cơ điện tử [12, 13], chẳng hạn như: điều khiển tay máy robot, hệ thống treo xe bus và các ứng

dụng trong điều khiển vị trí [12, 13]; trong việc giảm rung động, trong phân tích hệ thống điều khiển và trong máy phát điện [14]. Các ứng dụng của hệ thống giảm xóc – vật – lò xo đều cung cấp độ tin cậy cao hơn như tăng các hệ số an toàn hoặc hấp thụ các lực tác động [11].

Bài báo được tổ chức gồm 5 phần: mô hình toán học của hệ thống được trình bày trong phần 2, phần 3 trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển trượt động dựa vào hàm chuyển mạch động và giới hạn trên cho hệ thống, kết quả mô phỏng và đánh giá được trình bày trong phần 4, kết luận là phần 5.

## 2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA HỆ THỐNG GIẢM XÓC – VẬT – Lò XO

Mô hình hệ thống giảm xóc – vật – lò xo gồm vật có khối lượng  $m$ ; hệ số giảm xóc  $d$  và lò xo với độ cứng  $k$  được trình bày như Hình 1 [15]:



**Hình 1.** Mô hình hệ thống giảm xóc – vật – lò xo.

Phương trình không gian trạng thái mô tả hệ thống giảm xóc – vật – lò xo như sau [15]:

$$\dot{x}_1(t) = x_2(t) \quad (1)$$

$$\dot{x}_2(t) = f(\mathbf{x}) + \frac{1}{m}u(t) + d(t) \quad (2)$$

Trong đó:  $f(\mathbf{x}) = -\frac{k}{m}x_1(t) - \frac{d}{m}x_2(t)$

Và ngõ ra:

$$y(t) = x_1(t) \quad (3)$$

Với:  $m$  là khối lượng của vật ( $kg$ );  $d$  là hệ số giảm xóc ( $Ns/m$ ) và  $k$  là độ cứng lò xo ( $N/m$ ).

Trong đó:  $\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \quad x_2(t)]$ ,  $x_1(t), x_2(t)$  là trạng thái của hệ thống,  $y(t)$  là tín hiệu ngõ ra – vị trí của vật và  $d(t)$  bao hàm nhiễu ngoài và các yếu tố bất định khác,  $|d(t)| \leq D_0, |\dot{d}(t)| \leq D$

## 3. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT ĐỘNG DỰA VÀO HÀM CHUYỂN MẠCH ĐỘNG VÀ GIỚI HẠN TRÊN

Mặt trượt được định nghĩa như sau [10]:

$$s(t) = ce(t) + \dot{e}(t) \quad (4)$$

Trong đó,  $c > 0$  là hệ số được chọn trước sao cho đa thức đặc trưng của (4) Hurwitz.

Với sai số và đạo hàm sai số như sau:

$$e(t) = y(t) - y_d(t) \quad (5)$$

$$\dot{e}(t) = \dot{y}(t) - \dot{y}_d(t) \quad (6)$$

$$\ddot{e}(t) = \ddot{y}(t) - \ddot{y}_d(t) \quad (7)$$

Đạo hàm của mặt trượt  $s(t)$  như sau:

$$\dot{s}(t) = c\dot{e}(t) + \ddot{e}(t) = c\dot{e}(t) + f(\mathbf{x}) + \frac{1}{m}u(t) + d(t) - \ddot{y}_d(t) \quad (8)$$

Hàm chuyển mạch động mới được xây dựng như sau:

$$\sigma(t) = \dot{s}(t) + \lambda s(t) \quad (9)$$

Trong đó,  $\lambda > 0$  là hệ số được chọn trước sao cho đa thức đặc trưng của (9) Hurwitz.

Khi  $\sigma(t) = 0$ ,  $\dot{s}(t) + \lambda s(t) = 0$  là ổn định tiệm cận, do đó,  $e(t) \rightarrow 0$  và  $\dot{e}(t) \rightarrow 0$ .

Phân tích ổn định được thực hiện như sau:

Từ (9), ta có:

$$\sigma(t) = \dot{s}(t) + \lambda s(t) = c\dot{e}(t) + f(\mathbf{x}) + \frac{1}{m}u(t) + d(t) - \ddot{y}_d(t) + \lambda s(t) \quad (10)$$

Đạo hàm của (10) và kết hợp với (8), ta có:

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}(t) &= c\ddot{e}(t) + \dot{f}(\mathbf{x}) + \frac{1}{m}\dot{u}(t) + \dot{d}(t) - \ddot{y}_d(t) + \lambda\dot{s}(t) \\ &= (c + \lambda)f(\mathbf{x}) + \dot{f}(\mathbf{x}) - (c + \lambda)\ddot{y}_d(t) - \ddot{y}_d(t) + \dot{d}(t) \\ &\quad + (c + \lambda)d(t) + \lambda c\dot{e}(t) + \frac{1}{m}(c + \lambda)u(t) + \frac{1}{m}\dot{u}(t) \end{aligned} \quad (11)$$

Với luật tiếp cận tốc độ hằng như sau [10]:

$$\dot{\sigma}(t) = -\eta \text{sign}(\sigma(t)) \quad (12)$$

Bộ điều khiển trượt động dựa vào hàm chuyển mạch động với luật tiếp cận tốc độ hằng như sau:

$$\dot{u}(t) = m \left[ -(c + \lambda)f(\mathbf{x}) - \dot{f}(\mathbf{x}) + (c + \lambda)\ddot{y}_d(t) + \ddot{y}_d(t) - \lambda c\dot{e}(t) - \frac{1}{m}(c + \lambda)u(t) - \eta \text{sign}(\sigma(t)) \right] \quad (13)$$

Từ (11) và (13), ta có:

$$\dot{\sigma}(t) = \dot{d}(t) + (c + \lambda)d(t) - \eta \text{sign}(\sigma(t)) \quad (14)$$

Hàm Lyapunov được định nghĩa như sau:

$$V(t) = \frac{1}{2}\sigma^2(t) \quad (15)$$

Đạo hàm của (15) như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= \sigma(t)\dot{\sigma}(t) = \sigma(t) \left[ \dot{d}(t) + (c + \lambda)d(t) - \eta \text{sign}(\sigma(t)) \right] \\ &= \sigma(t) \left[ \dot{d}(t) + (c + \lambda)d(t) \right] - \eta |\sigma(t)| \end{aligned} \quad (16)$$

Với  $\eta > D + (c + \lambda)D_0$ , ta có:

$$\dot{V}(t) = \sigma(t) \left[ \dot{d}(t) + (c + \lambda)d(t) \right] - \eta |\sigma(t)| \leq (D + (c + \lambda)D_0)\sigma(t) - \eta |\sigma(t)| < 0 \quad (17)$$

Với giá trị của  $\eta$  thỏa điều kiện trên thì  $\dot{V}(t) < 0$ . Hệ thống sẽ ổn định theo Lyapunov. Lúc này, sai số  $e(t)$  sẽ hội tụ về 0 dẫn theo  $s(t) \rightarrow 0$  và  $\sigma(t) \rightarrow 0$  khi  $t \rightarrow \infty$ . Luật điều khiển (13)

điều khiển vị trí thực tế của hệ thống hội tụ về vị trí tham chiếu trong thời gian hữu hạn. Tuy nhiên, hàm  $sign(\sigma(t))$  trong (13) sẽ gây ra hiện tượng chattering quanh mặt trượt. Để hạn chế hiện tượng này, hàm bão hòa  $sat(\sigma(t))$  được sử dụng thay vì hàm  $sign(\sigma(t))$  trong (13). Phương trình toán học của hàm bão hòa như sau [10]:

$$sat(\sigma(t)) = \begin{cases} 1 & \sigma(t) > \Delta \\ k\sigma(t) & |\sigma(t)| \leq \Delta, k = \frac{1}{\Delta} \\ -1 & \sigma(t) < -\Delta \end{cases} \quad (18)$$

Trong đó:  $\Delta$  là lớp biên.

Bản chất của hàm bão hòa là: ngoài lớp biên, điều khiển chuyển mạch được lựa chọn, trong lớp biên, điều khiển hồi tiếp thông thường được thông qua. Vì vậy, hiện tượng chattering được hạn chế một cách triệt để.

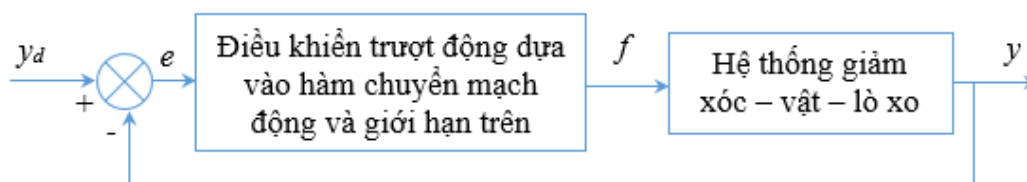
Lúc này, bộ điều khiển trượt động dựa vào hàm chuyển mạch động và giới hạn trên hệ thống giảm xóc – vật – lò xo như sau:

$$\dot{u}(t) = m \left[ -(c + \lambda)f(x) - \dot{f}(x) + (c + \lambda)\ddot{y}_d(t) + \ddot{y}_d(t) - \lambda c \dot{e}(t) - \frac{1}{m}(c + \lambda)u(t) - \eta sat(\sigma(t)) \right] \quad (19)$$

Với luật điều khiển như (19), vị trí thực tế của hệ thống đảm bảo hội tụ về vị trí tham chiếu trong thời gian hữu hạn và hạn chế đáng kể hiện tượng chattering quanh mặt trượt.

#### 4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ

Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển trượt động dựa vào hàm chuyển mạch động và giới hạn trên (DSMC-DSF-UB) hệ thống giảm xóc – vật – lò xo được trình bày như hình 2:



Hình 2. Sơ đồ cấu trúc bộ điều khiển DSMC-DSF-UB.

Các thông số của hệ thống được trình bày như bảng 1 và bảng 2 trình bày các thông số của bộ điều khiển DSMC-DSF-UB. Các thông số này của bảng 2 được lựa chọn dựa vào phương pháp thử và sai trong quá trình mô phỏng kết hợp với quan sát đáp ứng của hệ thống để lựa chọn các giá trị phù hợp.

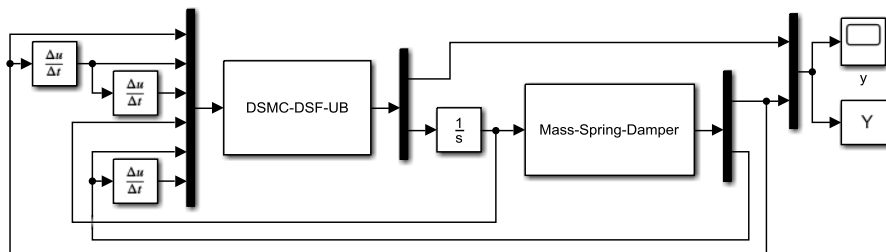
Bảng 1. Các thông số của hệ thống giảm xóc – vật – lò xo.

Thông số	Ý nghĩa	Giá trị	Đơn vị
$m$	Khối lượng của vật	2	kg
$k$	Độ cứng lò xo	3	N/m
$d$	Hệ số giảm xóc	5	Ns/m

Bảng 2. Các thông số của bộ điều khiển DSMC-DSF-UB.

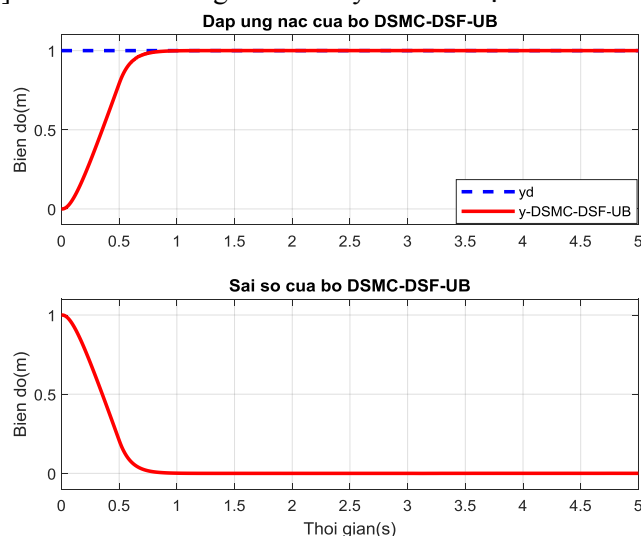
Thông số	$c$	$\lambda$	$D_0$	$D$	$\eta$	$\Delta$
Giá trị	10	55	8	6	526.5	0.5

Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển đề xuất trong MATLAB/Simulink với  $d(t) = 3\sin(t)$  được trình bày như hình 3:



Hình 3. Sơ đồ mô phỏng bộ điều khiển đề xuất trong MATLAB/Simulink.

Đáp ứng nấc và sai số của bộ DSMC-DSF-UB được trình bày như hình 4. Vị trí thực tế của hệ thống giảm xóc – vật – lò xo hội tụ về vị trí mong muốn với thời gian tăng đạt 0.443(s), thời gian xác lập là 0.7292(s), độ vọt lố khoảng 0.0089(%) và triệt tiêu sai số xác lập với các thông số của bộ điều khiển đề xuất được trình bày như bảng 2. Nếu giá trị của  $c$  và  $\eta$  được chọn lớn hơn hoặc nhỏ hơn các giá trị trong bảng 2 thì thời gian tăng, thời gian xác lập của hệ thống sẽ tăng lên và tín hiệu điều khiển  $u$  sẽ dao động với biên độ lớn hơn. Tương tự, nếu giá trị của  $\lambda$  được chọn nhỏ hơn giá trị trong bảng 2 thì đáp ứng của hệ thống xuất hiện sai số xác lập và độ vọt lố tăng lên. Các chỉ tiêu chất lượng đạt được của bộ điều khiển đề xuất với các thông số như bảng 2 được trình bày trong bảng 3 và được so sánh với bộ điều khiển PID [16]. Qua bảng 3 ta thấy rằng các chỉ tiêu đạt được của bộ DSMC-DSF-UB áp dụng cho hệ thống này hiệu quả hơn các chỉ tiêu đã công bố trong [16] bao hàm nhiều ngoài và các yếu tố bất định khác.

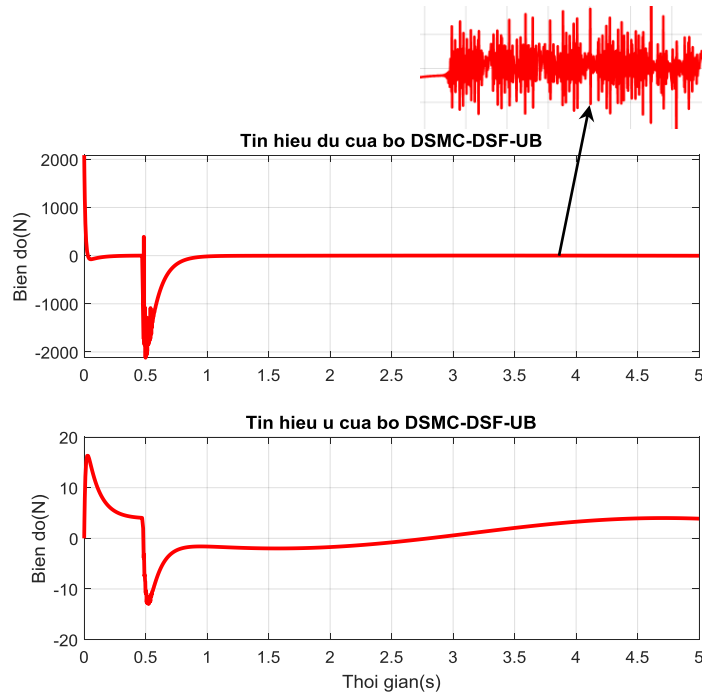


Hình 4. Đáp ứng nấc và sai số của bộ DSMC-DSF-UB.

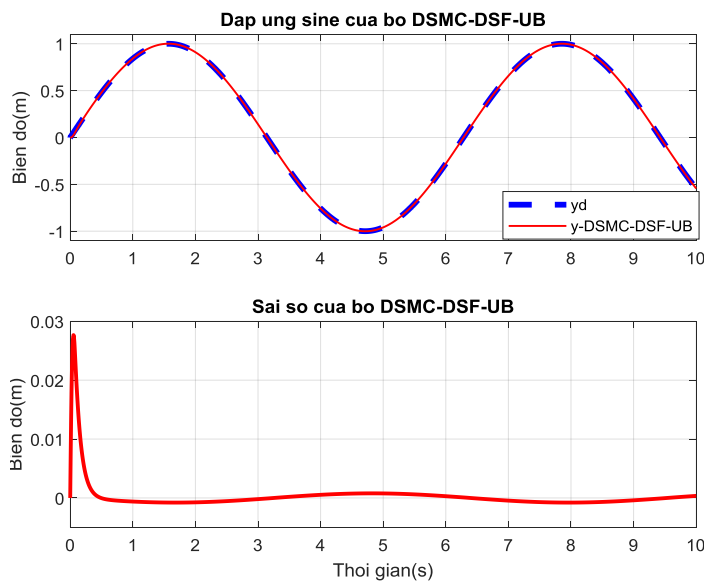
Bảng 3. Các chỉ tiêu chất lượng của bộ DSMC-DSF-UB.

Các chỉ tiêu chất lượng	DSMC-DSF-UB	PID [16]
Thời gian tăng (s)	0.4443	0.442
Thời gian xác lập (s)	0.7292	2.46
Độ vọt lố (%)	0.0089	13.5
Sai số xác lập (m)	0	-

Hình 5 trình bày đạo hàm của tín hiệu điều khiển ( $\dot{u}$ ) và tín hiệu điều khiển ( $u$ ). Tín hiệu trên hình 5 cho thấy hiện tượng chattering quanh mặt trượt đã được giảm đáng kể. Điều này chứng minh sự phù hợp và tính hiệu quả của bộ DSMC-DSF-UB.

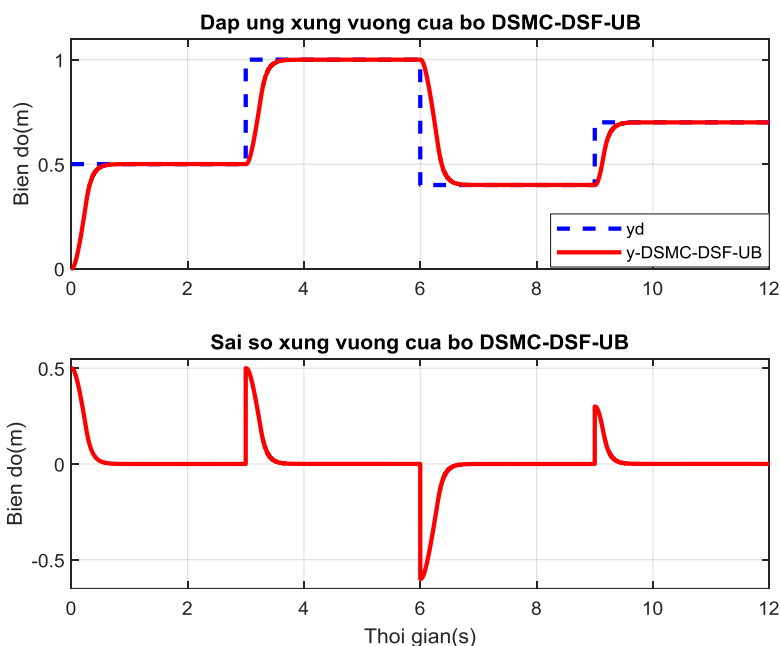


Hình 5. Tín hiệu  $\dot{u}$  và  $u$  với ngõ vào hàm bậc.

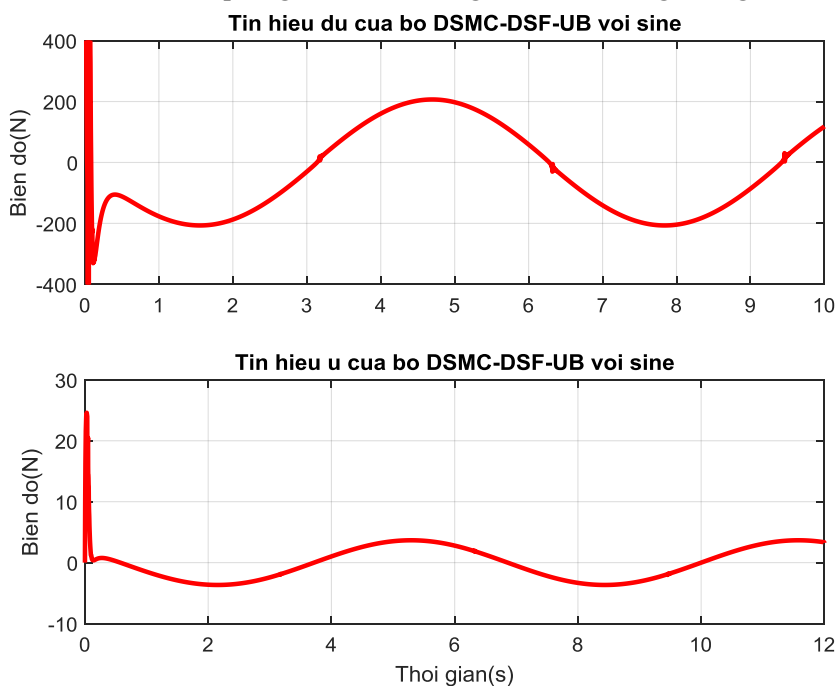


Hình 6. Đáp ứng và sai số với ngõ vào hình sine.

Hình 6 trình bày đáp ứng và sai số với ngõ vào hình sine và xung vuông của bộ DSMC-DSF-UB cho hệ thống này. Vị trí thực tế của hệ thống vẫn bám theo vị trí tham chiếu trong thời gian hữu hạn với sai số xác lập hội tụ về 0. Tín hiệu  $\dot{u}$  và  $u$  với ngõ vào hình sine được trình bày như hình 8.



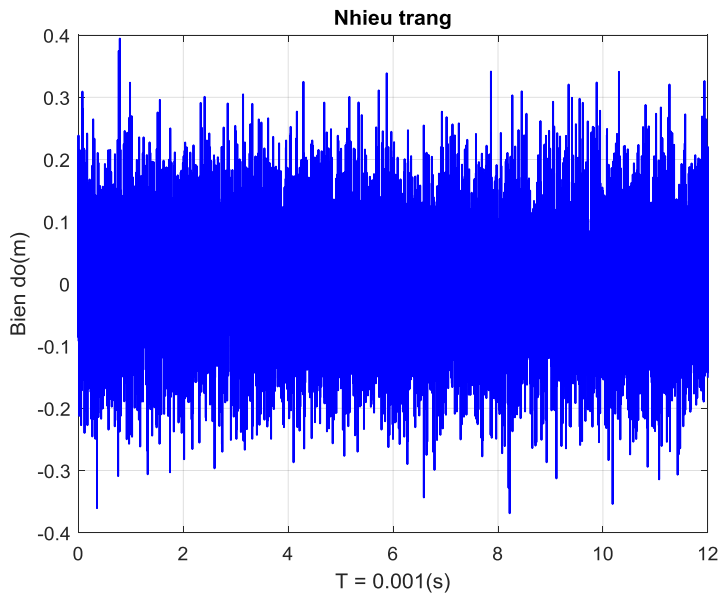
**Hình 7.** Đáp ứng và sai số với ngõ vào hình xung vuông.



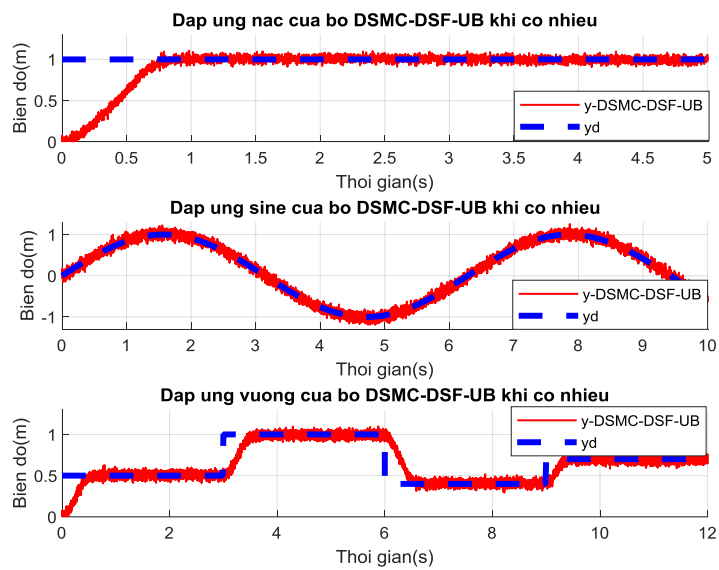
**Hình 8.** Tín hiệu du và u với ngõ vào hình sine.

Bộ điều khiển đề xuất cũng được khảo sát khi có nhiễu trắng tác động ở ngõ ra của hệ thống (giả sử nhiễu cảm biến) có công suất là 0.00001(w), chu kỳ lấy mẫu là 0.001(s) như hình 9 với các ngõ vào là hàm nấc, hình sine và xung vuông. Kết quả trong trường hợp này được thể hiện trên hình 10. Các vị trí thực tế trong trường hợp này vẫn hội tụ về vị trí mong muốn trong thời gian hữu hạn.

Các kết quả mô phỏng cho thấy hiệu quả, sự phù hợp và tính bền vững của bộ DSMC-DSF-UB trong ứng dụng điều khiển bám vị trí hệ thống giảm xóc – vật – lò xo.



Hình 9. Nhiễu trắng tác động ở ngõ ra của hệ thống (giả sử nhiễu cảm biến).



Hình 10. Đáp ứng bộ điều khiển đề xuất với các ngõ vào thay đổi khi có tác động của nhiễu.

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo đã thiết kế bộ điều khiển trượt động dựa vào hàm chuyển mạch động và giới hạn trên cho hệ thống giảm xóc – vật – lò xo với nhiễu. Đạo hàm ngõ vào điều khiển của bộ điều khiển trượt động được xem như biến điều khiển mới cho hệ thống tăng cường bao gồm hệ thống ban đầu và bộ tích hợp được kết hợp với giới hạn trên đã giảm đáng kể hiện tượng chattering và đặc tính loại bỏ nhiễu được đảm bảo. Các kết quả mô phỏng với MATLAB/Simulink cho thấy sự phù hợp, tính hiệu quả và bền vững của bộ điều khiển đề xuất với các chỉ tiêu chất lượng đạt được tốt hơn bộ điều khiển PID, phương pháp phân bố cực và LQR dựa vào mô phỏng tôi luyện và tối ưu đàn kiến. Tuy nhiên, các thông số của bộ điều khiển được lựa chọn bằng phương pháp thử và sai. Trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ ứng dụng các công cụ mềm để xác định các giá trị này và thực nghiệm mô hình thực tế.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Ha, Le N.N.T., and Sung K. Hong, “*Robust Dynamic Sliding Mode Control-Based PID–Super Twisting Algorithm and Disturbance Observer for Second-Order Nonlinear Systems: Application to UAVs*”, **Electronics** 8, No. 7 (2019), pp. 1 – 21.
- [2]. Xi Dong, RuiQi Dong and Ai-Guo Wu, “*Adaptive Dynamic Sliding Mode Control Laws for Attitude Stabilization of Flexible Spacecraft*”, *Journal of Physics: Conference Series*, **Vol. 1449** (2020), pp. 1 – 9.
- [3]. Hussein U. Suleiman, Muhammed B. Mu’azu, Tahir A. Zarma, Ahmed T. Salawudeen, Sadiq Thomas, Ahmadu A. Galadima, “*Methods of Chattering Reduction in Sliding Mode Control: A Case Study of Ball and Plate System*”, *International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST)*, (2018), pp. 1 – 9.
- [4]. Jiunn-Shiou Fang, Jason Sheng-Hong Tsai, Jun-Juh Yan, and Shu-Mei Guo, “*Adaptive Chattering-Free Sliding Mode Control of Chaotic Systems with Unknown Input Nonlinearity via Smooth Hyperbolic Tangent Function*”, *Mathematical Problems in Engineering*, **Vol. 2019**, (2019), pp. 1 – 10.
- [5]. Keyvan Aghabalaei Baghaei□, Hosein Ghaffarzadeh, S. Ali Hadigheh and Daniel Dias-da-Costa, “*Chattering-Free Sliding Mode Control Design with Fuzzy Model and its Application to Structures*”, *Structural Engineering & Mechanics*, **Vol. 69**, No. 3 (2019), pp. 307-315.
- [6]. Wan, Lei & Chen, Guofang & Sheng, Mingwei & Zhang, Yinghao & Zhang, Ziyang, “*Adaptive chattering-free terminal sliding-mode control for full-order nonlinear system with unknown disturbances and model uncertainties*”, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, **Vol. 17**, No. 3 (2020), pp. 1 – 11.
- [7]. Cibiraj, N., & Varatharajan, M, “*Chattering reduction in sliding mode control of quadcopters using neural networks*”, *Energy Procedia*, **Vol. 117** (2017), pp. 885–892.
- [8]. Ismail Dif, Abdallah Kouzou, “*Trajectory Tracking Control Design of a Mass Damping-Spring System with Uncertainty using the Bond Graph Approach*”, *Engineering, Technology & Applied Science Research*, **Vol. 10**, No. 6 (2020), pp. 6427-6431.
- [9]. Fang, Y., Fu, W., An, C., Yuan, Z., & Fei, J., “*Modelling, Simulation and Dynamic Sliding Mode Control of a MEMS Gyroscope*”, *Micromachines*, **Vol. 12**, No. 2 (2021), pp. 1 – 12.
- [10]. Jinkun Liu, Xinhua Wang, “*Advanced Sliding Mode Control for Mechanical Systems*” (2011), Springer.
- [11]. Munaf Fathi Badr, Ekhlas Hameed Karam and Noor Mohammed Mjeed, “*Control design of damper mass spring system based on backstepping controller scheme*”, *International Review of Applied Sciences and Engineering*, (2020), pp. 1 – 8.
- [12]. Okubanjo, A.A, Oyetola, O.K, Ade-Ikuesan, O.O, Olaluwoye, O.O, Alao, P.O, “*Performance Evaluation of PD and LQR Controller for Coupled Mass Spring Damper System*”, *Futo Journal Series (FUTOJNLS)*, **Vol. 4**, Issue-1 (2018), pp. 199 – 210.
- [13]. Okubanjo A. A., Oyetola O. K., Olaluwoye O. O., “*Simulink and Simelectronics based Position Control of a Coupled Mass-Spring Damper Mechanical System*”, *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, **Vol. 8**, No. 5 (2018), pp. 3636 – 3646.
- [14]. Jorge M. Cruz-Duarte, J. Juan Rosales-García and C. Rodrigo Correa-Cely, “*Entropy Generation in a Mass-Spring-Damper System Using a Conformable Model*”, *Symmetry*, (2020), pp. 1 -11.
- [15]. Ejiroghene Kelly Orhororo, Monday Erhire Onogbotsere, “*Simulation of a mass spring damper model in phase variable*”, *ELK Asia Pacific Journal of Mechanical Engineering Research*, **Vol. 2**, Issue 2 (2016), pp. 1 – 16.
- [16]. Kankariya Ravindra, Kulkarni Yogesh, Gujrathi Ankit, “*Comparative Analysis of P, PI, PD, PID Controller for Mass Spring Damper System using Matlab Simulink*”, *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)*, Special Issue (2018), pp. 668 – 672.
- [17]. Huthaifa AL-Khazraji, Luay T. Rasheed, “*Performance Evaluation of Pole Placement and Linear Quadratic Regulator Strategies Designed for Mass-Spring-Damper System Based on Simulated Annealing and Ant Colony Optimization*”, *Journal of Engineering*, **Vol. 27**, No. 11 (2021), pp. 15 – 31.

**ABSTRACT**

**Dynamic sliding mode control based on dynamic switching functions  
and upper bound for the mass – spring – damper**

*This research proposes a dynamic sliding mode control based on dynamic switching functions and upper bound (DSMC-DSF-UB) for the mass – spring – damper system with disturbance. The time derivative of the control input of the dynamic sliding mode controller (DSMC) is treated as a new control variable for the augmented system which is composed of the original system and the integrator. This DSMC can transfer discontinuous terms to the first-order derivative of the control input. Therefore, the proposed controller effectively reduces the chattering phenomenon in the traditional sliding mode control. Simulation results in MATLAB/Simulink are compared with PID controller to demonstrate the effectiveness of the proposed method with the rising time achieves 0.443(s), the settling time is 0.7292(s), the overshoot is about 0.0089(%) and the steady – state error converges to 0.*

**Keywords:** Dynamic sliding mode control; Upper bound; Dynamic switching functions; Mass – spring – damper system; MATLAB/Simulink.